

DOI: 10.12737/article_5c73fc18596104.60696082

¹Аверкова О.А., ^{1,*}Крюков И.В., ¹Уваров В.А., ¹Минко В.А., ¹Крюкова О.С.¹Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46

*E-mail: iliya.krakov@yandex.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПЫЛИ, ОБРАЗУЕМОЙ В МАНИКЮРНЫХ КАБИНЕТАХ

Аннотация. В помещениях маникюрных кабинетов образование пылевых частиц связано с процедурой опиливания поверхности окрашенных или наращенных ногтей. Характер движения пылевых частиц в воздухе рабочей зоны помещения определяется формой частиц пыли, ее дисперсностью, плотностью. Пылевые частицы при длительном воздействии на организм мастера маникюра могут привести к ухудшению его здоровья, в частности к развитию профессиональных заболеваний дыхательных путей. Целью работы является исследование физико-механических свойств пылевых аэрозолей, образуемых в помещении маникюрного кабинета в процессе опиливания поверхности ногтей. В ходе исследования интересующими параметрами являлись истинная плотность, дисперсный состав, коэффициент динамической формы. Учет этих параметров необходим для разработки эффективной системы пылеулавливания, поскольку они определяют характер движения пылевой частицы в воздухе рабочей зоны помещения, а также математической модели движения пыли вблизи местного вентиляционного отсоса.

Ключевые слова: местная вытяжная вентиляция, обеспыливающая вентиляция, пылеулавливание, воздух рабочей зоны, ногтевая пыль, маникюрный кабинет, коэффициент динамической формы.

Введение. В ходе выполнения процедуры наращивания ногтей мастер маникюра подвергается воздействию широкого спектра веществ, входящих в состав используемых в работе материалов. Образующие пары и летучие соединения могут раздражать слизистые оболочки глаз и органов дыхания. Также мастер маникюра осуществляет опиливание ногтей, выполняемое с целью придания им формы, снятия старого покрытия и т.д. Опиливание производится маникюрными пилками или при помощи специального аппарата (аппаратный маникюр). В ходе опиливания образуется значительное количество пыли, негативно влияющей на здоровье мастера маникюра. Характер воздействия пыли на организм человека зависит от следующих факторов: форма частиц пыли, дисперсность, химический состав. Наиболее опасными являются размеры взвешенных частиц пыли менее 10 мкм (PM10) (сокр. PM – от англ. «particulate matter»). 80...90 % пылевых частиц величиной до 10 мкм задерживаются в верхних дыхательных путях [1]. В работах [2–5] были измерены концентрации пыли, образуемой при опиливании ногтей с гелевым и акриловым покрытием. Результаты показали, что эти концентрации значительно превышены по сравнению с рекомендуемыми европейскими и американскими стандартами.

Комплексное воздействие пыли и химических веществ, может привести к развитию профессиональных заболеваний у мастера маникюра. Наиболее распространенные виды заболеваний: аллергическая астма, ринит, конъюнктивит (в случае поражения зрительных органов),

дерматит (в случае поражения кожных покровов). Стоит отметить, что содержание в пыли токсических компонентов также оказывает негативное влияние и способствует "отравлению" организма. Так как мастер маникюра находится в помещении продолжительное время важность рассматриваемого вопроса очень актуальна.

Согласно требованиям СанПиН 2.1.2.2631-10 рабочее место мастера маникюра должно быть оборудовано системой местной вытяжной вентиляции. Одной из главных задач системы вытяжной вентиляции является удаление образующихся вредных веществ. Однако, данным требованиям, к сожалению, большинство маникюрных кабинетов и мастеров пренебрегают. Связано это с различными факторами, такими как стоимость вентиляционных систем, удобство их размещения, эффективность пылеудаления и другое. В работах [6, 7], была показана необходимость размещения на рабочих местах систем местной вытяжной вентиляции, а в [8] проведен аналитический обзор имеющихся пылеулавливающих систем для маникюрных кабинетов.

Пылевые частицы, в отличие от летучих соединений и паров, попадая в дыхательные пути, своими острыми краями могут травмировать слизистые поверхности или оседать на них и со временем накапливаться. Так как в состав пыли могут входить опасные для здоровья химические вещества, то воздействие этих компонентов будет носить отравляющий характер.

По форме пылевые аэрозоли разделяют по сравнительной протяженности частиц в трех измерениях на три класса [9]:

– изометрические частицы, имеющие в трех измерениях примерно одинаковые размеры (шар, правильный многогранник);

– частицы, имеющие в двух измерениях значительную протяженность, чем в третьем (чешуйки, пластинки и др.);

– частицы, имеющие большую протяженность в одном измерении (иглы, стержни, волокна).

Целью работы является: исследование физико-механических характеристик пылевых аэрозолей, таких как истинная плотность, дисперсный состав, коэффициент динамической формы, необходимых для разработки эффективной системы пылеулавливания, а также математической модели движения пылевых частиц вблизи местного вентиляционного отсоса.

Методы и материалы исследования.

Исследуемая пыль. Для определения истинной плотности, дисперсного состава и коэффициента динамической формы использовались образцы пыли, полученные мастерами маникюра путем опиливания поверхности ногтей с покрытием гель-лакманикюрной пилкой с абразивностью 180–240 grit. Данные пилки используются для спиливания окрашенной поверхности ногтя, при этом есть вероятность опиливания и поверхности самого ногтя. Таким образом в конечном итоге в исследуемых образцах присутствовала ногтевая и гелевая пыль. Полученные образцы №1-3 исследовались на истинную плотность, дисперсность, микроскопию.

Работа электронного пикнометра осуществляется по принципу вытеснения газа. Пикнометр состоит из двух камер, которые соединены между собой. Камеры оснащены датчиками давления и температуры. Сначала рабочим газом заполняется эталонная камера, затем, он перемещается в измерительную камеру известного объема. В измерительную камеру помещается образец твердого материала, плотность которого необходимо определить. В ходе проведения эксперимента снимаются показания датчиков, составляются уравнения материального баланса, из которых определяется объем исследуемого материала. По полученным значениям массы и объема образца, рассчитывается его истинная плотность. В результате измерения истинной плотности образца №3 ее значение составило 1240 кг/м³. Отличие полученных данных входе проведения экспериментов для исследуемых образцов пыли составила менее 1 %.

Определение истинной плотности пылевых частиц. Одним из основных параметров определяющих характер движения пыли является плотность частиц. Для исследований использовалась отобранная в ходе опиливания поверхности ногтей пыль. Плотность пылевых частиц определялась пикнометрическим методом для образцов №1-2 и при помощи электронного пикнометра АТСс автоматической регулировкой температуры Русноматик АТС – образец №3.

Суть пикнометрического метода заключается в том, что плотность исследуемого образца определяется путем его погружения в жидкость с известной плотностью. В качестве вспомогательной жидкости использовалась дистиллированная вода с известной плотностью 1000 кг/м³. Вначале измерялась масса сухого пикнометра m_1 . Затем бралась навеска исследуемой пыли $m_{нав}$ массой 0,01 кг. Навеска помещалась в пикнометр и заливалась жидкостью до мерной риски. Пикнометр с жидкостью и навеской нагревался до состояния кипения. Таким образом, воздух, содержащийся в порах исследуемой пыли полностью удалялся из нее. По истечению 20 минут пикнометр с навеской и жидкостью снова взвешивался и определялась масса m_3 . После этого пикнометр вымывался и в него наливалась дистиллированная вода до мерной риски, и пикнометр снова взвешивался - масса пикнометра с водой m_4 . После всего определялась истинная плотность пыли по формуле:

$$\rho_{ист} = \frac{m_{нав} \cdot \rho_{в}}{(m_4 - m_1) - (m_3 - m_2)} = \frac{0,01 \cdot 1000}{(0,146 - 0,046) - (0,148 - 0,056)} = 1250 \text{ кг/м}^3.$$

Определение дисперсного (гранулометрического) состава.

Рассеивание пылевых аэрозолей в воздухе в значительной мере определяется их дисперсным составом. Мелкие частицы пыли осаждаются медленнее, что позволяет ей дольше задерживаться в воздухе и, соответственно, вероятность попадания такой пыли в организм увеличивается.

В процессе опиливания поверхности окрашенных или наращенных ногтей образуется значительное количество мелкодисперсной пыли. Попадая в воздух рабочей зоны частицы размером менее 10 микрон способны оставаться во взвешенном состоянии достаточно долго [12, 14].

В работе [13] частицы, которые могут попасть в дыхательные пути, разделены на три типа. Во-первых, ингаляционные частицы, которые осаждаются во рту, гортани и глотке и имеют диаметр более 20 мкм; во-вторых, торакальный, который залегает за пределы гортани, но выше дыхательных путей и находится между 5–20 мкм

в диаметре; и, в-третьих, вдыхаемые, которые могут осаждаются в бронхиолах и альвеолярных протоках. Эти меньшие частицы имеют диаметрне более 5 мкм и считаются наиболее раздражающими и опасными, т.к. могут вызвать эмфизему и фиброз [14].

Крупность частиц пыли, образуемой в процессе опиливания, определялась путем проведения дисперсного анализа лазерным анализатором размера частиц Analysette 22. Принцип действия прибора заключается в использовании физического принципа рассеяния электромагнитных волн. При помощи диспергирующего устройства частицы подаются в измерительную ячейку и проходят сквозь лазерный луч, при этом свет, рассеянный пропорционально размеру частиц, посредством линзы фокусируется на детектор. Распределение частиц по размерам рассчитывается по распределению рассеянного света. В результате этого получают объемные доли, которые соответствуют эквивалентным диаметрам при лазерной дифракции.

Определение коэффициента динамической формы частиц.

Частицы пыли чаще всего имеют неправильную форму, которая свойственна для обломков твердых тел, которые образуются при определенных технологических процессах. Форма пылевой частицы оказывает влияние на характер ее движения особенно при осаждении, оказывая тем самым влияние на скорость осаждения частицы и время нахождения ее во взвешенном состоянии.

В решении некоторых инженерных задач необходимо знать численное значение степени неправильности формы частиц. Численная характеристика формы частиц описывается такими параметрами как коэффициент формы f , коэффициент сферичности φ , а также коэффициент динамической формы χ . Чаще всего эти коэффициенты определяют путем сравнения исследуемой частицы с частицей имеющей форму шара, эквивалентной рассматриваемой по какому-либо признаку.

В литературе коэффициент сферичности [10, 15] принимается равным отношению поверхности шара $S'_{ш}$ с объемом, равным объему данной частицы, к площади ее поверхности $S'_ч$

$$\varphi = \frac{S'_{ш}}{S'_ч} \quad (1)$$

Для шарообразных частиц коэффициент сферичности $\varphi = 1$, а для частиц неправильной формы – $\varphi < 1$. Зависимость между коэффициентом формы и коэффициентом сферичности можно выразить следующим образом

$$f = 1/\varphi \quad (2)$$

В этом случае для шарообразной частицы $f = 1$, а для частиц другой формы – $f > 1$.

В работе [11] определение коэффициента динамической формы частицы для малых значений числа Рейнольдса представляет собой отношение аэродинамической силы сопротивления рассматриваемой частицы $R_ч$ к аэродинамической силе сопротивления шара $R_{ш}$, эквивалентного частице по объему, при одинаковой относительной скорости:

$$\chi = \frac{R_ч}{R_{ш}} \quad (3)$$

или с учетом

$$R = \psi F \frac{u^2}{2} \rho_ч, \quad (4)$$

$$\chi = \frac{\psi_ч F_ч \rho_ч u^2 / 2}{\psi_{ш} \frac{\pi}{4} d_э^2 \rho_ч u^2 / 2} = \frac{\psi_ч F}{\psi_{ш} \frac{\pi}{4} d_э^2}, \quad (5)$$

где F – площадь характерного сечения частицы, m^2 ; $\rho_ч$ – плотность частицы, $кг/м^3$; u – относительная скорость частицы, $м/с$; ψ – коэффициент сопротивления частицы; $d_э$ – эквивалентный диаметр частицы, $м$.

Если за характерное сечение частицы $F_ч$ принять миделево сечение шара, эквивалентного частице по объему, то

$$\chi = \frac{\psi_ч}{\psi_{ш}}, \quad (6)$$

Коэффициент динамической формы можно также определить как отношение квадратов эквивалентного диаметра $d_э$ и седиментационного d_c – диаметр шара имеющий плотность и скорость осаждения, что и рассматриваемая частица [9, 11, 15]:

$$\chi = \frac{d_э^2}{d_c^2}, \quad (7)$$

В некоторых случаях скорость падения частицы сравнивают со скоростью падения шара, эквивалентного частице по объему

$$\phi = \frac{\omega_ч}{\omega_{ш}}, \quad (8)$$

Зависимость между коэффициентом динамической формы χ и ϕ согласно [11] выражается зависимостью:

– для области автомодельности: $\chi = 1/\phi^2$;

– для области вязкого обтекания: $\chi = 1/\phi$.

Зависимость между коэффициентом динамической формы, коэффициентом формы и числом Рейнольдса рассмотрена в работе [15]:

– при $Re < 0,2$: $\chi = \frac{1}{\left(0,843 \lg \frac{1}{0,065 f}\right)}$;

– при $0,2 < Re < 2 \cdot 10^3$: $\chi = f^{0,9} Re^{0,15\sqrt{f-1}}$

– при $Re > 2 \cdot 10^3$: $\chi = 1 + 11,6(\sqrt{f} - 1)$.

Результаты и их анализ. Полученные значения дисперсного состава исследуемых образцов пыли, полученных нами от мастеров маникюра, представлены в таблицах 1–3 и на рисунках 1–3.

Таблица 1

Дисперсный состав образца пыли №1

Диаметр частиц d , мкм	< 5	5–10	10–20	20–40	40–60	60–100	> 100
Содержание отдельных фракций частиц от общей массы пыли ΔD , %	1,6	0,3	4,82	11,22	10,31	22,12	49,63
Доля частиц мельче d (проход частиц) $D(d)$, %	1,6	1,9	6,72	17,94	28,25	50,37	100

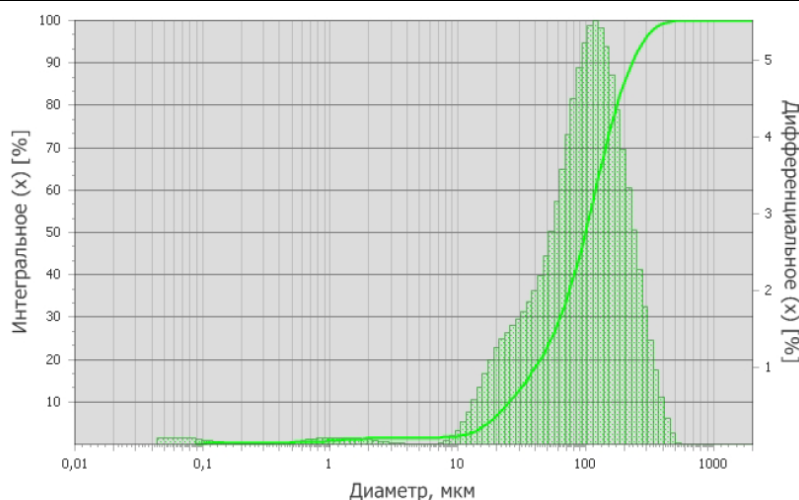


Рис. 1. График распределения частиц пыли образца №1

Таблица 2

Дисперсный состав образца пыли №2

Диаметр частиц d , мкм	< 5	5–10	10–20	20–40	40–60	60–100	> 100
Содержание отдельных фракций частиц от общей массы пыли ΔD , %	2,73	1,65	6,07	10,88	10,83	21,95	45,9
Доля частиц мельче d (проход частиц) $D(d)$, %	2,73	4,38	10,45	21,32	32,15	54,1	100

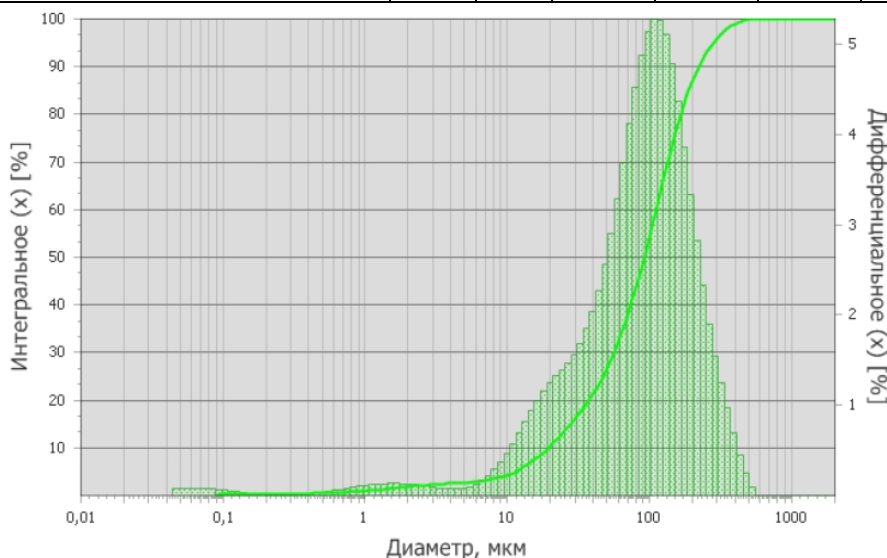


Рис. 2. График распределения частиц пыли образца №2

Дисперсный состав образца пыли №3

Диаметр частиц d , мкм	< 5	5–10	10–20	20–40	40–60	60–100	> 100
Содержание отдельных фракций частиц от общей массы пыли ΔD , %	2,24	1,31	3,27	6,3	7,9	18,45	60,53
Доля частиц мельче d (проход частиц) $D(d)$, %	2,24	3,55	6,82	13,12	21,02	39,47	100

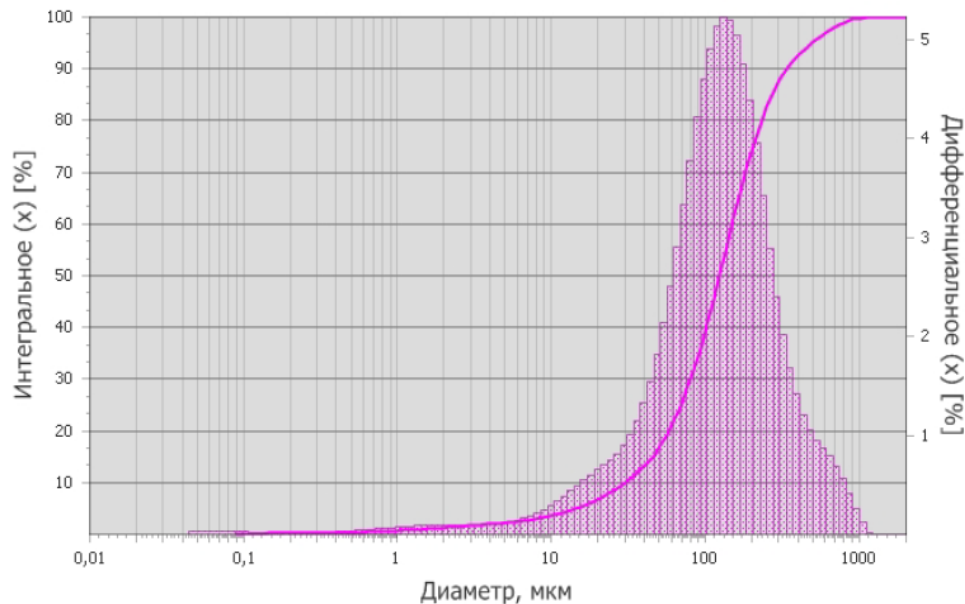


Рис. 3. График распределения частиц пыли образца №3

По результатам дисперсного анализа содержание в исследуемой пыли частиц размером меньше 10 мкм составляет менее 5 %. Однако стоит обратить внимание на тот факт, что мастер маникюра проводит по несколько процедур в день, таким образом, количество вредной пыли в воздухе рабочей зоны может накапливаться. Кроме этого процесс опиливания мастер проводит достаточно близко к области пылеобразования, тем самым подвергая себя большей вероятности попадания пыли в организм. Большое количество частиц крупностью выше 100 мкм объясняется использованием пилки с крупными частицами абразивного материала.

Изображения, полученные по результатам микроскопии, представлены на рисунках 4 и 5.

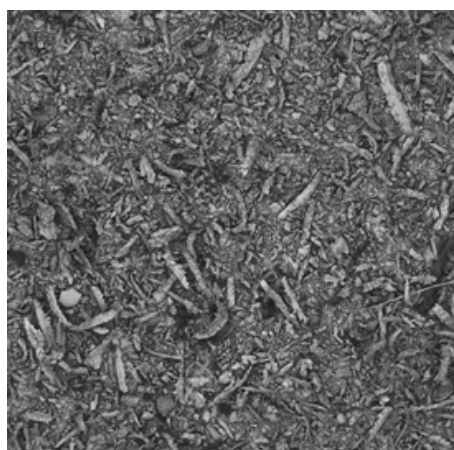
Согласно проведенному визуальному анализу было установлено, что в исследуемых образцах пыли преобладают частицы продолговатой и пластинчатой форм (рис. 4 б, д, е; рис. 5 б-г), которые могут иметь грубые и неровные края. Данные частицы, могут длительное время находиться во взвешенном состоянии и перемещаться по воздуху в помещении. В результате этого вероятность попадания таких частиц в дыхательную систему возрастает. Скорость оседания исследуемых частиц значительно ниже, чем, например, шарообразных, так как имея пластинчатую и продолговатую форму, сила аэродинамического со-

противления им значительно выше. Микроскопия ногтевой пыли, полученная в работе [13] практически совпадает с результатами, полученными в нашей работе (см. рис. 6) – преобладают частицы пластинчатой формы. Более мелкие частицы размером меньше 20 мкм можно описать как куски неправильной формы или осколки (рис. 4в).

Для определения численных значений коэффициента динамической формы пластинчатых частиц исследуемой пыли выберем несколько частиц (рисунок 7). Выборка частиц производилась произвольно, в частности были выбраны частицы, чьи линейные размеры в трех измерениях возможно определить. Для выбранных частиц по результатам полученных фотографий определяются их геометрические параметры: длина, ширина и толщина.

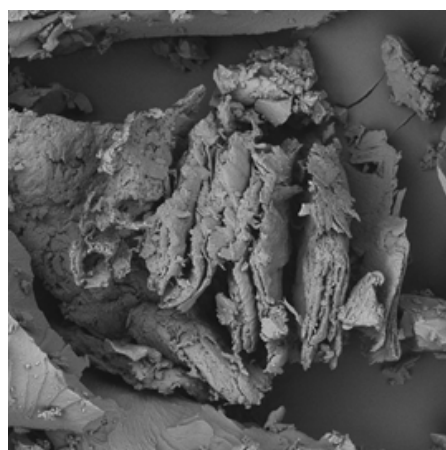
Методика определения коэффициента динамической формы заключается в следующем: [15].

Определим объемы рассматриваемых частиц V , мм³ путем измерения ее геометрических размеров по максимальной протяженности в каждом измерении. Были выбраны частицы, чьи геометрические размеры по результатам микроскопии можно измерить в трех измерениях с минимальной погрешностью, а также различной протяженности. Предпочтения отдавалось частицам пластинчатой формы (форма определялась визуально).



View field: 5.00 mm Det: BSE MIRA3 TESCAN
SEM HV: 5.0 kV SM: FIELD 1 mm
BI: 10.00 WD: 10.08 mm БГТУ им. В.Г. Шухова

а



View field: 100.0 µm Det: BSE MIRA3 TESCAN
SEM HV: 5.0 kV SM: DEPTH 20 µm
BI: 10.00 WD: 10.08 mm БГТУ им. В.Г. Шухова

б



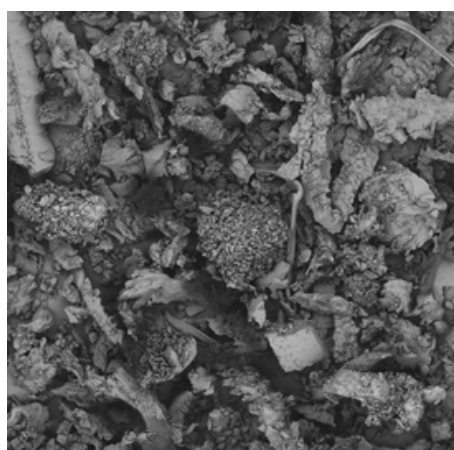
View field: 100.0 µm Det: BSE MIRA3 TESCAN
SEM HV: 5.0 kV SM: DEPTH 20 µm
BI: 10.00 WD: 9.96 mm БГТУ им. В.Г. Шухова

в



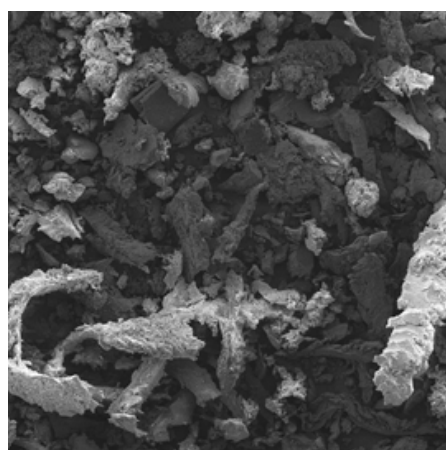
View field: 1000 µm Det: BSE MIRA3 TESCAN
SEM HV: 5.0 kV SM: DEPTH 200 µm
BI: 10.00 WD: 10.08 mm БГТУ им. В.Г. Шухова

г



View field: 1000 µm Det: BSE MIRA3 TESCAN
SEM HV: 5.0 kV SM: DEPTH 200 µm
BI: 10.00 WD: 9.96 mm БГТУ им. В.Г. Шухова

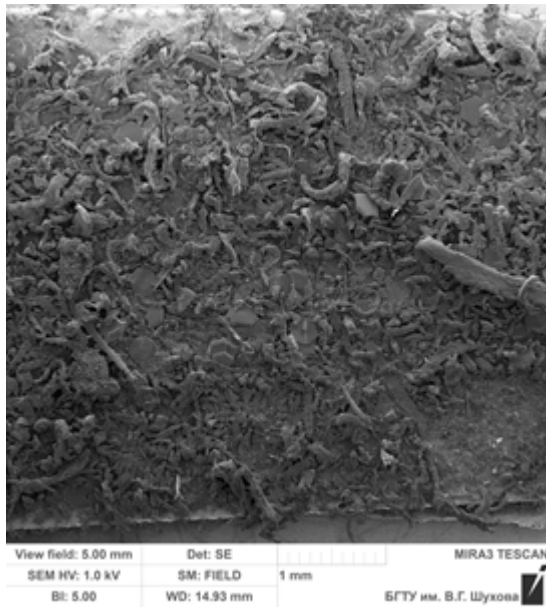
д



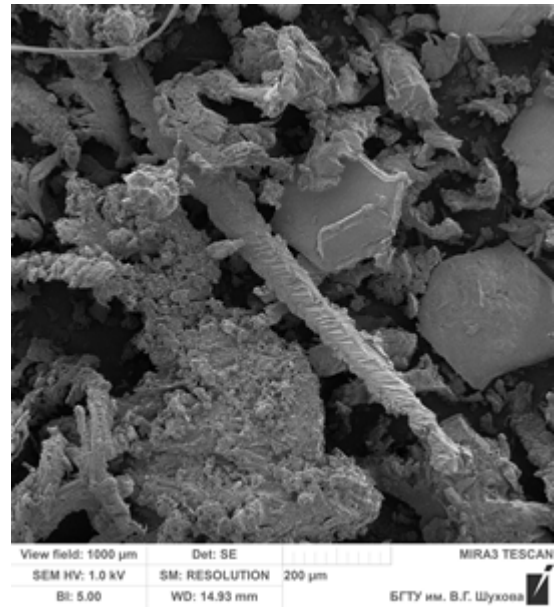
View field: 1000 µm Det: SE MIRA3 TESCAN
SEM HV: 5.0 kV SM: RESOLUTION 200 µm
BI: 2.00 WD: 8.99 mm БГТУ им. В.Г. Шухова

е

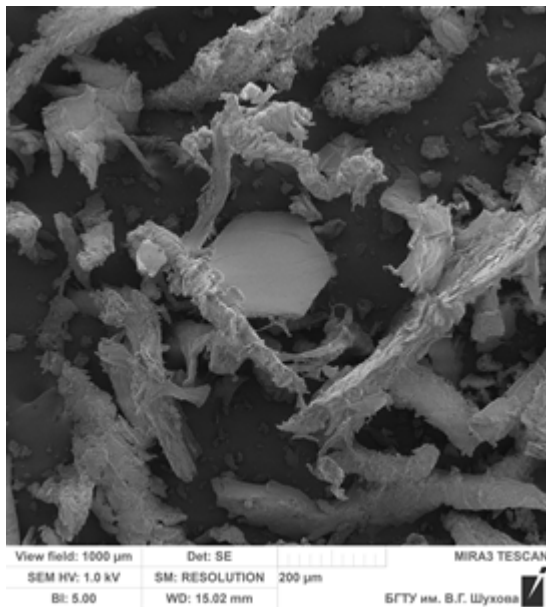
Рис. 4. Микроскопия ногтевой пылиобразцов №1-2: а) при 40 кратном увеличении; б-в) при 2000 кратном увеличении; г-е) при 200 кратном увеличении



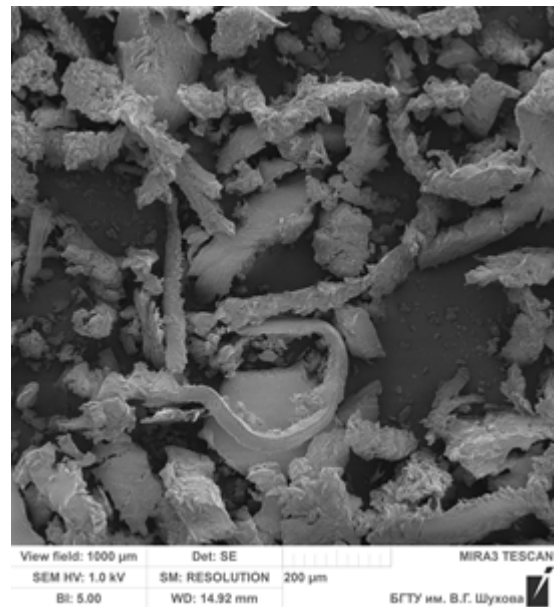
а



б



в



г

Рис. 5. Микроскопия ногтевой пылиобразца №3: а) при 40 кратном увеличении; б-г) при 200 кратном увеличении



Рис. 6. Микроскопия ногтевой пыли [13]

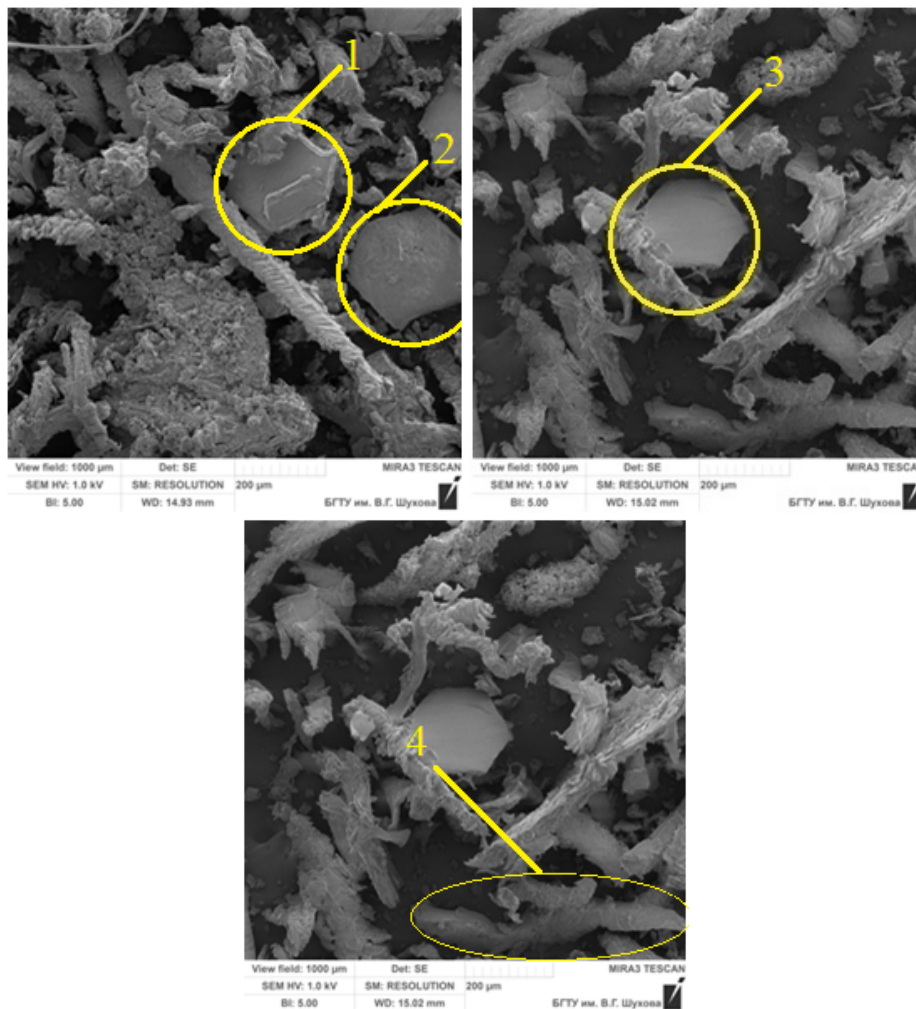


Рис. 7. Выборка пластинчатых частиц

Для рассматриваемых частиц объемы составили:

$$V_1 = 0,263 \times 0,252 \times 0,021 = 0,00139 \text{ мм}^3,$$

$$V_2 = 0,263 \times 0,26 \times 0,021 = 0,00143 \text{ мм}^3,$$

$$V_3 = 0,26 \times 0,26 \times 0,02 = 0,00135 \text{ мм}^3.$$

$$V_4 = 0,627 \times 0,069 \times 0,0345 = 0,00149 \text{ мм}^3.$$

1. Найдем диаметр шара $d_{э}$, эквивалентного по объему рассматриваемой частице.

$$d_{э1} = \sqrt[3]{\frac{6V_1}{\pi}} = \sqrt[3]{\frac{6 \cdot 0,00139}{3,14}} = 0,138 \text{ мм},$$

$$d_{э2} = \sqrt[3]{\frac{6V_2}{\pi}} = \sqrt[3]{\frac{6 \cdot 0,00143}{3,14}} = 0,139 \text{ мм},$$

$$d_{э3} = \sqrt[3]{\frac{6V_3}{\pi}} = \sqrt[3]{\frac{6 \cdot 0,00135}{3,14}} = 0,137 \text{ мм}.$$

$$d_{э4} = \sqrt[3]{\frac{6V_4}{\pi}} = \sqrt[3]{\frac{6 \cdot 0,00149}{3,14}} = 0,142 \text{ мм}.$$

2. Определим площадь поверхности эквивалентного по объему шара и частицы.

$$S'_{ш1} = \pi d_{э1}^2 = 3,14 \cdot 0,138^2 = 0,06 \text{ мм}^2,$$

$$S'_{ч1} = 2 \cdot 0,263 \cdot 0,252 + 2 \cdot 0,263 \cdot 0,021 + 2 \cdot 0,252 \cdot 0,021 = 0,154 \text{ мм}^2,$$

$$S'_{ш2} = \pi d_{э2}^2 = 3,14 \cdot 0,139^2 = 0,06 \text{ мм}^2,$$

$$S'_{ч2} = 2 \cdot 0,263 \cdot 0,26 + 2 \cdot 0,263 \cdot 0,021 + 2 \cdot 0,26 \cdot 0,021 = 0,158 \text{ мм}^2,$$

$$S'_{ш3} = \pi d_{э3}^2 = 3,14 \cdot 0,137^2 = 0,059 \text{ мм}^2,$$

$$S'_{ч3} = 2 \cdot 0,263 \cdot 0,252 + 2 \cdot 0,263 \cdot 0,021 + 2 \cdot 0,252 \cdot 0,021 = 0,156 \text{ мм}^2,$$

$$S'_{u4} = \pi d_{34}^2 = 3,14 \cdot 0,142^2 = 0,063 \text{ мм}^2,$$

$$S'_{q4} = 2 \cdot 0,627 \cdot 0,069 + 2 \cdot 0,069 \cdot 0,0345 + 2 \cdot 0,627 \cdot 0,0345 = 0,135 \text{ мм}^2.$$

3. Отношение площади поверхности рассматриваемой частицы к площади поверхности эквивалентного по объему шара даст численное значение коэффициента формы.

$$f_1 = \frac{S'_{q1}}{S'_{u1}} = \frac{0,154}{0,06} = 2,56,$$

$$f_2 = \frac{S'_{q2}}{S'_{u2}} = \frac{0,158}{0,06} = 2,6,$$

$$f_3 = \frac{S'_{q3}}{S'_{u3}} = \frac{0,156}{0,059} = 2,64,$$

$$Ar_1 = \frac{gd_1^3 (\rho_q - \rho_g) \rho_g}{\mu_g} = \frac{9,81 \cdot 0,000138^3 \cdot (1250 - 1,2) \cdot 1,2}{18,2 \cdot 10^{-5}} = 0,000215;$$

$$Ar_2 = \frac{gd_2^3 (\rho_q - \rho_g) \rho_g}{\mu_g} = \frac{9,81 \cdot 0,000139^3 \cdot (1250 - 1,2) \cdot 1,2}{18,2 \cdot 10^{-5}} = 0,000217;$$

$$Ar_3 = \frac{gd_3^3 (\rho_q - \rho_g) \rho_g}{\mu_g} = \frac{9,81 \cdot 0,000137^3 \cdot (1250 - 1,2) \cdot 1,2}{18,2 \cdot 10^{-5}} = 0,000207;$$

$$Ar_4 = \frac{gd_4^3 (\rho_q - \rho_g) \rho_g}{\mu_g} = \frac{9,81 \cdot 0,000142^3 \cdot (1250 - 1,2) \cdot 1,2}{18,2 \cdot 10^{-5}} = 0,000231$$

5. Вычислим число Рейнольдса и по найденному значению определим режим обтекания эквивалентной частицы

$$Re_1 = \frac{Ar_1}{18 + 0,6\sqrt{Ar_1}} = \frac{0,000215}{18 + 0,6\sqrt{0,000215}} = 0,000012$$

$$Re_2 = \frac{Ar_2}{18 + 0,6\sqrt{Ar_2}} = \frac{0,000217}{18 + 0,6\sqrt{0,000217}} = 0,000012$$

$$Re_3 = \frac{Ar_3}{18 + 0,6\sqrt{Ar_3}} = \frac{0,000207}{18 + 0,6\sqrt{0,000207}} = 0,0000115$$

$$Re_4 = \frac{Ar_4}{18 + 0,6\sqrt{Ar_4}} = \frac{0,000231}{18 + 0,6\sqrt{0,000231}} = 0,000013$$

6. Определим значение коэффициента динамической формы для рассматриваемых частиц с учетом найденного значения числа Рейнольдса

$$f_4 = \frac{S'_{q4}}{S'_{u4}} = \frac{0,135}{0,063} = 2,13.$$

4. Определим критерий Архимеда для шарообразной частицы, эквивалентной рассматриваемой. Динамическая вязкость воздуха μ_g и плотность воздуха ρ_g принимаются равными $1,82 \times 10^{-5} \text{ Н} \cdot \text{с}/\text{м}^2$ и $1,2 \text{ кг}/\text{м}^3$ соответственно (для температуры воздуха в помещении $20 \text{ }^\circ\text{C}$). Значение плотности ρ_q примем равным $1250 \text{ кг}/\text{м}^3$ (данное значение получено в ходе исследования истинной плотности пыли).

$$\chi_1 = \frac{1}{\left(0,843 \lg \frac{1}{0,065 f_1}\right)} = \frac{1}{\left(0,843 \lg \frac{1}{0,065 \cdot 2,56}\right)} = 1,52$$

$$\chi_2 = \frac{1}{\left(0,843 \lg \frac{1}{0,065 f_2}\right)} = \frac{1}{\left(0,843 \lg \frac{1}{0,065 \cdot 2,6}\right)} = 1,54$$

$$\chi_3 = \frac{1}{\left(0,843 \lg \frac{1}{0,065 f_3}\right)} = \frac{1}{\left(0,843 \lg \frac{1}{0,065 \cdot 2,64}\right)} = 1,55$$

$$\chi_4 = \frac{1}{\left(0,843 \lg \frac{1}{0,065 f_4}\right)} = \frac{1}{\left(0,843 \lg \frac{1}{0,065 \cdot 2,13}\right)} = 1,38$$

Полученные численные значения коэффициента динамической формы для рассматриваемых частиц находятся в пределах 1,38–1,55. Учитывая, что толщина частиц более чем в 10 раз меньше длины и ширины, то данные пластинча-

тые частицы можно классифицировать как чешуйки. В [11] значение коэффициента динамической формы для пластинчатой частицы составили 6,5, однако данное значение было получено для области автомодельности и описания геометрических характеристик рассматриваемых частиц в работе нет

Выводы. В ходе проведенной работы было выявлено следующее:

- определено значение истинной плотности гелевой пыли, которое в среднем составляет 1250 кг/м³;
- получен гранулометрический состав пыли, исходя из которого можно определить содержание частиц пыли различной фракции;
- по фотографиям, полученным с электронного микроскопа было определено, что значительную долю составляют частицы пыли, имеющие форму пластин различной протяженности;
- посчитаны численные значения коэффициента динамической формы для выбранных пластинчатых частиц, которые находятся в пределах 1,4–1,5.

Полученные в ходе исследования данные позволят провести численное исследование движения рассматриваемых пылевых частиц, что позволит в дальнейшем для их локализации и удаления спроектировать и подобрать необходимое вытяжное оборудование.

Источник финансирования. Грант Российского научного фонда (проект № 18-79-10025).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Лужников Е.А. Медицинская токсикология: национальное руководство. Под ред. Е.А. Лужникова. М.: ГЭОТАР-Медиа, 2012. 928 с.
2. Goldin L.J., Ansher L., Berlin A. etc. Indoor air quality survey of nail salons in Boston // *Journal of Immigrant and Minority Health*. 2014. Vol. 16. Issue 3. Pp 508–514.
3. Roelofs C, Do T. Exposure assessment in nail salons: an indoor air approach // *International Scholarly Research Network Public Health*. 2012. Vol. 2012. Pp 1–7.
4. Аверкова О.А., Крюков И.В., Крюкова О.С. К вопросу о размещении систем местной вытяжной вентиляции в помещениях с высоким содержанием пыли // *Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова*. 2018. №4. С. 50–55.
5. Hiipakka D, Samimi B. Exposure of acrylic fingernail sculptors to organic vapors and methacrylate dusts. *Am Ind Hyg Assoc J*. 1987. 48. Pp 230–237.
6. Marlow D.A., Looney T., Reutman S. An Evaluation of Local Exhaust Ventilation Systems for Controlling Hazardous Exposures in Nail Salons. Washington, DC: Centers for Disease Control and Prevention (CDC), National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH); 2012. Division of Applied Research and Technology, Engineering and Physical Hazards Branch, EPHB Report No. 005-164.
7. Shakibaei N. Reducing Workers' Exposures to Chemicals and Dust in Nail Salons Using Local Exhaust Ventilation Systems. Diss. University of Washington, 2014.
8. Аверкова О.А., Зайцев О.Н., Крюков И.В., Уваров В.А., Крюкова О.С. Способы и средства локализации пылевыведений в косметологических кабинетах // *Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова*. 2018. №10. С. 80–89.
9. Фукс Н.А. Механика аэрозолей. М. Издательство академии наук СССР, 1955. 383 с.
10. Гаврилова Н.Н., Назаров В.В., Яровая О.В. Микроскопические методы определения размеров частиц дисперсных материалов: учеб. пособие. М.: РХТУ им. Д.И. Менделеева, 2012. 52 с.
11. Нейков О.Д., Логачев И.Н. Аспирация и обеспыливание воздуха при производстве порошков. М., Металлургия, 1981. 192 с.
12. Purkiss R. An assessment of the airborne dust in podiatric treatment areas, and its relevance to the use of respiratory protective equipment // *Brit Pod Med*. 1997. Vol. 52. Pp. 129–136.
13. Donaldson C., Carline T., Brown D., Gilmour P., Donaldson K. A study to ascertain the potential inhalation hazard of toenail dust // *British Journal of Podiatry* February 2003. 6(1). Pp. 28–32.
14. Abramson C, Wilton J, Inhalation of nail dust from onychomycotic toenails. Part I. Characterization of particles // *Journal of the American Podiatric Medical Association*. 1985a. 75. Pp.563–567.
15. Разумов И.М. Пневмо- и гидротранспорт в химической промышленности. М., "Химия", 1979. 248 с.

Информация об авторах

Аверкова Ольга Александровна, доктор технических наук, профессор кафедры теплогазоснабжения и вентиляции. E-mail: olga_19572004@mail.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Крюков Илья Валерьевич, кандидат технических наук, начальник отдела организации НИР студентов. E-mail: iliya.krakov@yandex.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Уваров Валерий Анатольевич, доктор технических наук, зав. кафедрой теплогазоснабжения и вентиляции. E-mail: v_uvarov@mail.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Минко Всеволод Афанасьевич, доктор технических наук, профессор кафедрой теплогазоснабжения и вентиляции. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Крюкова Ольга Сергеевна, аспирант кафедры теплогазоснабжения и вентиляции. E-mail: iliya.krakov@yandex.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Поступила в декабре 2018 г.

© Аверкова О.А., Крюков И.В., Уваров В.А., Минко В.А., Крюкова О.С., 2019

¹Averkova O.A., ^{1,}Kryukov I.V., ¹Uvarov V.A., ¹Minko V.A., ¹Kryukova O.S.*

¹Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov

Russia, 308012, Belgorod, St. Kostyukova, 46

**E-mail: iliya.krakov@yandex.ru*

THE STUDY PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF DUST FORMED IN MANICURE CABINETS

Abstract. Dust particles are formed in the premises of manicure rooms in connection with the procedure of filing the surface of painted or extended nails. The movement of dust particles in the working area is determined by the form of dust particles, its dispersion and density. With prolonged exposure, dust can lead to a deterioration in master's health, in particular to the development of occupational diseases of respiratory tract. The aim of the work is to study the physico-mechanical properties of dust aerosols formed in the manicure room during the process of filing nails. In the study, parameters of interest are the true density, the dispersion composition, the coefficient of dynamic form. Consideration of these parameters is necessary for the development of an efficient dust collection system, as well as a mathematical model for the movement of dust near the local exhaust ventilation.

Keywords: local exhaust ventilation, dedusting system, the working zone air, nail dust, manicure cabinet, coefficient of dynamic forms.

REFERENCES

1. Luzhnikov E.A. Medical Toxicology: National Leadership, Ed. E.A. Luzhnikov. M.: GEOTAR-Media, 2012, 928 p.
2. Goldinn L.J., Ansher L., Berlin A. etc. Indoor air quality survey of nail salons in Boston. Journal of Immigrant and Minority Health, 2014, vol. 16, issue 3, pp. 508–514.
3. Roelofs C, Do T. Exposure assessment in nail salons: an indoor air approach. International Scholarly Research Network Public Health, 2012, vol. 2012, pp. 1–7.
4. Averkova O.A., Kryukov I.V., Kryukova O.S. On the issue of local exhaust ventilation systems in rooms with high dust content. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov, 2018, no. 4, pp. 50–55.
5. Hiipakka D., Samimi B. Exposure of acrylic fingernail sculptors to organic vapors and methacrylate dusts. Am Ind Hyg Assoc J. 1987, 48, pp 230–237.
6. Marlow D.A., Looney T., Reutman S. An Evaluation of Local Exhaust Ventilation Systems for Controlling Hazardous Exposures in Nail Salons. Washington, DC: Centers for Disease Control and Prevention (CDC), National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH); 2012. Division of Applied Research and Technology, Engineering and Physical Hazards Branch, EPHB Report No. 005–164.
7. Shakibaei N. Reducing Workers' Exposures to Chemicals and Dust in Nail Salons Using Local Exhaust Ventilation Systems. Diss. University of Washington, 2014.

8. Averkova O.A., Zaitsev O.N., Kryukov I.V., Uvarov V.A., Kryukova O.S. Ways and means of localization of dust emissions in cosmetological cabinets. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov, 2018, no. 10, pp. 80–89.

9. Fuchs N.A. Mechanics of aerosols. M. The USSR Academy of Sciences, 1955, 383 p.

10. Gavrilova N.N., Nazarov V.V., Yaro-vaya O.V. Microscopic methods for determining the particle size of dispersed materials: study guide. M.: RHTU them. DI. Mendeleev, 2012, 52 p.

11. Neykov O.D., Logachev I.N. Aspiration and dedusting of air in the production of powders. Moscow, Metallurgy, 1981, 192 p.

12. Purkiss R. Air safety and environmental protection equipment. Brit Pod Med, 1997, vol. 52, pp. 129–136.

13. Donaldson C., Carline T., Brown D., Gilmour P., Donaldson K. A study to ascertain the potential hazardous dust. British Journal of Podiatry, February 2003, 6 (1), pp. 28–32.

14. Abramson C., Wilton J. Inhalation of Nail dust onychomycotic toenails. Part I. Characterization of particles. Journal of the American Podiatric Medical Association, 1985a, 75, pp. 563–567.

15. Razumov I.M. Pneumo and hydrotransport in the chemical industry. M., "Chemistry", 1979, 248 p.

Information about the authors

Averkova, Olga A. DSc, Professor. E-mail: olga_19572004@mail.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Kryukov, Iliya V. PhD. E-mail: iliya.kryukov@yandex.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Uvarov, Valeriy A. DSc, Professor. E-mail: v_a_uvarov@mail.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Minko, Vsevlod A. DSc, Professor. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Kryukova, Olga S. Postgraduate student. E-mail: iliya.kryukov@yandex.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Received in Desember 2018

Для цитирования:

Аверкова О.А., Крюков И.В., Уваров В.А., Минко В.А., Крюкова О.С. Исследование физико-механических свойств пыли, образуемой в маникюрных кабинетах // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2019. № 2. С. 69–80. DOI: 10.12737/article_5c73fc18596104.60696082

For citation:

Averkova O.A., Kryukov I.V., Uvarov V.A., Minko V.A., Kryukova O.S. The study physical and mechanical properties of dust formed in manicure cabinets. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov, 2019, no. 2, pp. 69–80. DOI: 10.12737/article_5c73fc18596104.60696082